

Рис. 6. Структурная модель интегрированного интеллектуального мехатронного модуля

Суммарная матрица:

$$E + A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Матрица соответствия:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Показатели функциональной нагрузки:

$$N_1 = 0,3; N_2 = 0,3; N_3 = 0,2; N_4 = 0,2.$$

Следовательно, наибольшую функциональную нагрузку несут УКУ и СП.

Конструктивная избыточность показывает, какую часть от общего числа элементов в ММ составляют дополнительные конструктивные элементы:

$$CS = \frac{N_d}{N_o + N_d},$$

где  $N_o$  — число основных функциональных конструктивных элементов в ММ.

Таким образом, предложенные классификация, модели и критерии синергетической интеграции позволяют выбрать наиболее рациональную структурную модель ММ, в наибольшей степени отвечающую требованиям мехатронности, и приступить к ее конструкторской реализации.

#### Список литературы

1. Косов М. Г., Гуревич Ю. Е., Симанженков К. А. Логика проектирования машин: учеб. пособ. М.: Янус-К, 2008.
2. Егоров О. Д., Подураев Ю. В. Конструирование мехатронных модулей: учебник. М.: ИЦ МГТУ "Станкин", 2004.
3. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. пособ. М.: Машиностроение, 2006.

УДК 004.771:62-503.55

Н. В. Козак, канд. техн. наук, доц.,  
kozak@nesystems.ru,

Л. И. Мартинова, канд. техн. наук, доц.,

К. А. Савинов, аспирант,

И. А. Дубровин, аспирант,

Московский государственный  
технологический университет "СТАНКИН"

## Построение гетерогенной распределенной компьютерной системы управления для высокотехнологичных децентрализованных производств на основе web-технологий\*

Обоснована необходимость создания гетерогенных распределенных систем управления децентрализованных высокотехнологичных производств. Сформирована обобщенная структура гетерогенных компьютерных систем управления. Определены функции и место web-сервера, приведен пример построения удаленного терминала на базе web-браузера.

**Ключевые слова:** удаленное управление, web-терминал, web-сервер системы ЧПУ, децентрализованные производства, распределенные компьютерные системы

#### Введение

Управление децентрализованными высокотехнологичными производствами в рамках виртуальных корпораций основано на применении многопроцессорных гетерогенных систем числового программного управления с распределенной топологией [1, 2]. Гетерогенная система управления строится на базе синтеза разнородных вычислительных компонентов, в качестве которых выступают традиционные системы управления (системы ЧПУ, программируемые логические контроллеры или контроллеры движения), промышленные компьютеры и специализированные компьютерные системы управления. Для реализации управления технологическим процессом требуется организовать их распределенное функционирование, т. е. включение вычислительных компонентов в общую информационно-вычислительную среду через промышленные сети. При этом особое место занимает задача создания и организации межмодульного взаимодействия, в том

\* Работа выполнена по Госконтрактам № П963 и № 16.740.11.0267 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009—2013 гг.



числе на базе web-технологий с применением web-сервера данных [3, 4].

Базовые программные модули, с одной стороны, обеспечивают взаимодействие программных модулей web-сервера с ядром системы ЧПУ для получения данных о процессе управления и передачи управляющих команд от web-клиентов. Вместе с тем, они реализуют интерактивное web-пространство для совместной работы компонентов гетерогенной распределенной компьютерной системы [5].

Применение систем ЧПУ с открытой модульной архитектурой позволяет реализовать взаимодействие с промышленным оборудованием на основе стандартных протоколов связи, используя проложенные промышленные и офисные сети [6].

### Обобщенная архитектура гетерогенной распределенной компьютерной системы управления

Гетерогенная распределенная компьютерная система управления производством формируется посредством набора web-серверов, специализирующихся на реализации двух основных задач:

1. Предоставление удаленного доступа к функциям диагностики и управления станочным оборудованием.
2. Организация интерактивного пространства для взаимодействия персонала.

Центральный web-сервер гетерогенной компьютерной системы (рис. 1) открывает web-клиентам доступ к системам управления станочным оборудованием, таким образом предоставляя им потенциальную возможность удаленного контроля, диагностики и управления производственными процессами. Доступ к функциям управления и диагностики подсистем станка реализует web-сервер системы управления, предоставляя web-клиентам инструментальные средства для интерактивного взаимодействия.

Пользователи web-терминала удаленно управляют технологическим оборудованием в рамках локальной сети предприятия (например, операторы крупногабаритного станка, технологи производственного участка, сервис-инженеры цеха) (рис. 2).

Пользователи web-ресурсов обеспечивают взаимодействие участников гетерогенной производственной среды (например, для оперативного взаимодействия операторов станка и сервис-инженеров, персонала производственных участков и руководства предприятия) [7].

Пользователи системы удаленного обучения осуществляют удаленное обучение с использованием предоставляемых средой специализированных инструментов.

Администраторы гетерогенной среды выполняют задачи управления содержимым web-ресурсов, реализуют сервисные функции для клиентов других групп, обеспечивают стабильность и безопасность работы гетерогенной среды (например, системные

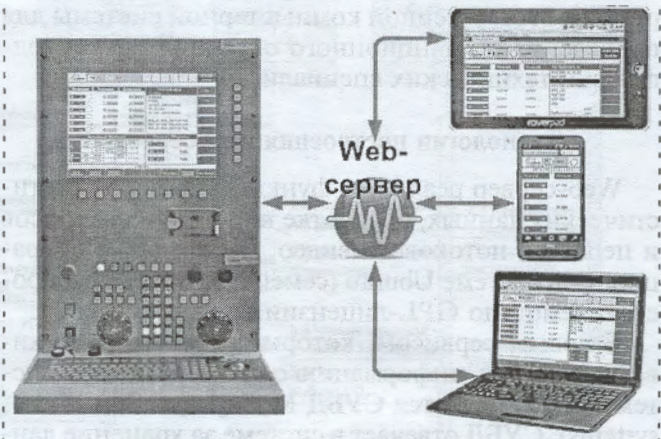


Рис. 1. Обобщенная структура гетерогенной компьютерной системы

администраторы настраивают функции и предоставляют доступ для управления станочным оборудованием через web-терминал).

В соответствии с установленными правами доступа для каждого клиента web-сервер предоставляет соответствующие функции web-сервера станка ЧПУ (рис. 2):

- удаленного терминала системы ЧПУ;
- взаимодействия подразделений посредством форумов, интерактивных конференций;
- доступа к специализированным базам данных;
- интерактивных web-средств поддержки и сопровождения проектов;
- сбора и обработки технологической информации для обеспечения эффективного информационного обмена конструкторской и технологической документацией;
- управления доступом к информационным ресурсам с учетом прав пользователей;
- административного управления содержимым web-ресурсов;
- управления правами пользователей;
- контроля деятельности виртуального производства.

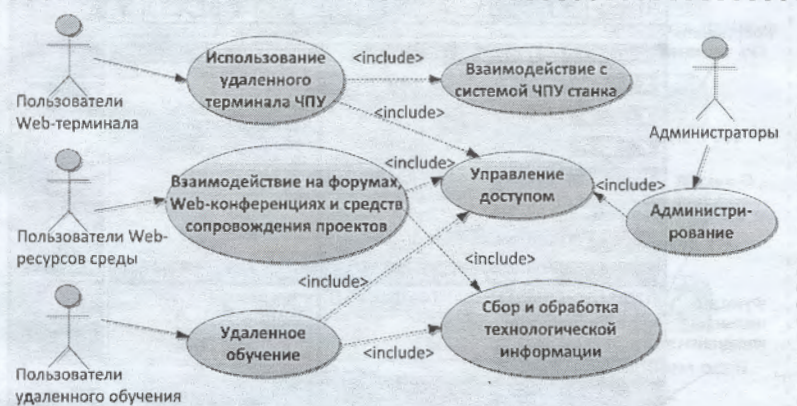


Рис. 2. Диаграмма прецедентов web-сервера гетерогенной компьютерной системы управления



Также возможно предоставление доступа к web-ресурсам гетерогенной компьютерной системы для проведения дистанционного обучения и переподготовки технических специалистов.

### Технологии построения web-сервера

Web-сервер реализует функции по сбору статистических данных, обработке клиентских запросов и передаче потокового видео. Он создан в операционной системе Ubuntu (семейства Linux), распространяемой по GPL-лицензии.

Базовым сервисом, который должен обслуживать и хранить информацию о состоянии ядра системы ЧПУ, является СУБД MySQL (от Sun Microsystems). СУБД отвечает в системе за хранение данных, поступивших как с сервера ядра системы ЧПУ [8], так и с внутренних web-сервисов. В частности, хранятся учетные записи пользователей и уровни их доступа в системе, специальные таблицы web-приложений интерактивной среды, а также таблицы данных системы ЧПУ, которые используются в качестве интерфейса обмена информацией с web-приложениями.

Доступ к параметрам и техническим данным системы ЧПУ со стороны web-приложений осуществляется через таблицы СУБД. Для работы с этими таблицами со стороны системы ЧПУ разработано приложение на языке C#, которое собирает статистику ядра реального времени и реализует базовые функции управления ЧПУ [9, 10].

Задача запуска приложений C# на платформе Linux была успешно решена с применением проекта Mono (реализация платформы .NET на Unix-подобных системах) [11]. Программа по сбору данных работает в фоновом режиме на web-сервере и осуществляет постоянный сетевой мониторинг данных, получаемых от ядра системы управления. Таким образом, отслеживаются режимы работы,

системные сообщения, позиционирование осей станка ЧПУ, статус и выполнение управляющей программы. Все эти данные в непрерывном режиме записываются в СУБД, после чего обрабатываются и передаются для мониторинга и диагностики.

Специальный модуль web-приложения для просмотра и передачи данных на обработку создан с применением программных продуктов Apache, PHP и JavaScript. Модуль позволяет с помощью PHP-скриптов получить доступ к данным, хранящимся в СУБД.

### Удаленный терминал управления станком

Графический интерфейс пользователя удаленного web-терминала (рис. 3) разработан с применением web-технологий и реализует базовые функции системы ЧПУ подобно основной терминальной части ядра реального времени [11]. Web-сервер предоставляет возможность однократного получения web-страницы через браузер, т. е. отсутствует регулярное обновление страницы. Динамическое отображение изменяющихся в реальном времени данных реализовано с использованием технологии AJAX, которая позволяет в асинхронном режиме изменять данные на web-странице пользователя без ее перезагрузки. Недостаток этой технологии в том, что не все мобильные платформы ее поддерживают. Например, стандартный браузер Window CE в силу ограниченной функциональности не использует эту технологию.

Взаимодействия клиентского приложения web-сервера и ядра системы управления реализовано по существующему механизму коммуникации на базе протокола TCP/IP [11].

На обобщенной диаграмме взаимодействия участников системы удаленного web-терминала (рис. 4) отражен базовый механизм взаимодействия web-сервера с клиентским приложением системы ЧПУ через базу данных. Здесь реализуются запросы на запись (обновление) и чтение, аргументами могут являться имена необходимых полей таблиц и соответствующие значения.

Сначала необходимо соединить удаленный терминал с сервером ЧПУ (вызов 2.1 на рис. 4). После нажатия пользователем кнопки "соединить" в соответствующее поле базы данных записывается команда на соединение (вызов 2.2). Эта команда считывается клиентским приложением из базы (вызов 2.3). После установки соединения с ядром ЧПУ (вызовы 2.4 и 2.5) в то же поле таблицы базы данных записывается уведомление о состоянии соединения (вызов 2.6). Результат изменений данных в базе отображается на web-странице пользователя.

На рис. 5 изображена обобщенная структура базы данных web-сервера. Здесь

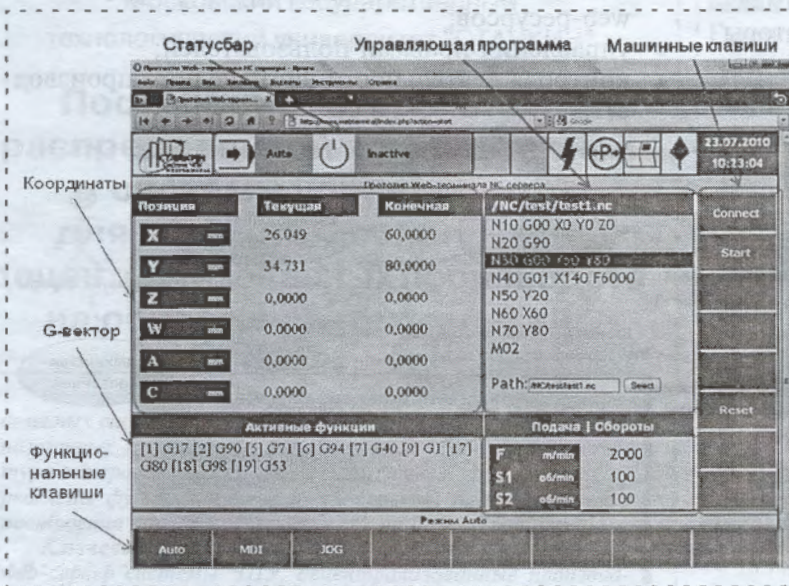


Рис. 3. Пользовательский интерфейс удаленного web-терминала



представлены основные базы данных распределенной системы и детализированы специальные таблицы интерфейса взаимодействия, обеспечивающего работу службы мониторинга системы ЧПУ. Браузер пользователя, отображающий web-терминал, циклически обращается с запросами к базе данных для получения информации о параметрах работы оборудования (состояние, перемещения рабочих органов системы ЧПУ и т. д.). Клиентское приложение, работающее напрямую с ядром системы ЧПУ, обновляет данные в таблицах в соответствии с полученной информацией.

Основные функции web-терминала по управлению и мониторингу реализуются посредством обычного web-браузера, например Internet Explorer или Firefox, независимо от того, на какой платформе они выполняются.

Приступая к работе, пользователь должен пройти авторизацию, что соответствует правилам информационной защиты системы (рис. 6). После авторизации система находится в состоянии "Подключено" (Connected) и доступна клавиша "Отключить" (Disconnect). При подключении пользователю становятся доступны режимы работы системы ЧПУ. В автоматическом режиме доступна файловая система для выбора управляющей программы, которую можно запустить на выполнение. Помимо функций работы в основных режимах системы ЧПУ пользователь может просматривать дополнительную техническую информацию о состоянии системы управления и историю системных сообщений.

### Сервисы гетерогенной среды

Распределенная система управления виртуальной производственной корпорацией содержит дополнительные сервисы, обеспечивающие решение задач по обслуживанию производственных процессов, таких как планирование и организация конференций, поддержка системы контроля версий, удаленная диагностика производственных процессов и пр.

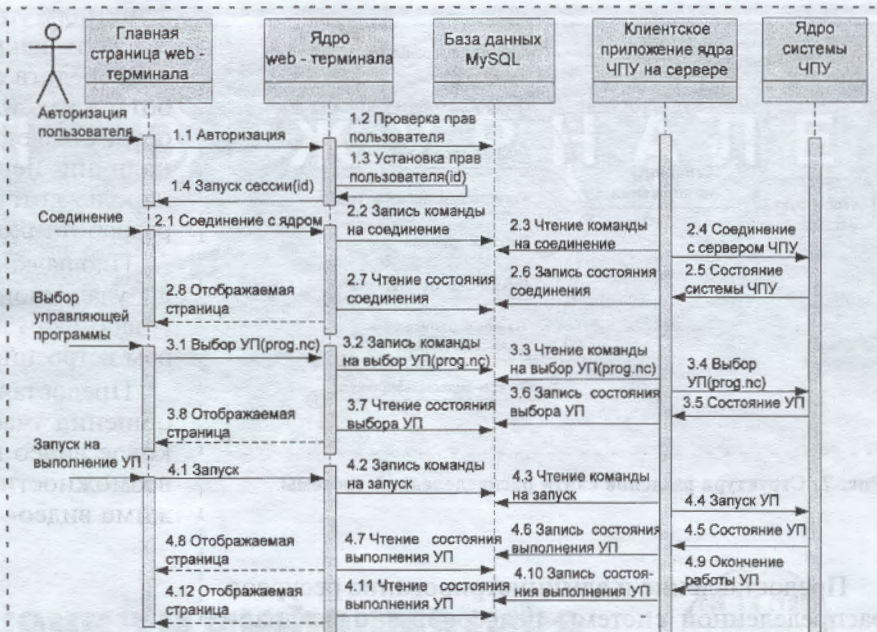


Рис. 4. Обобщенная диаграмма взаимодействия участников системы удаленного web-терминала

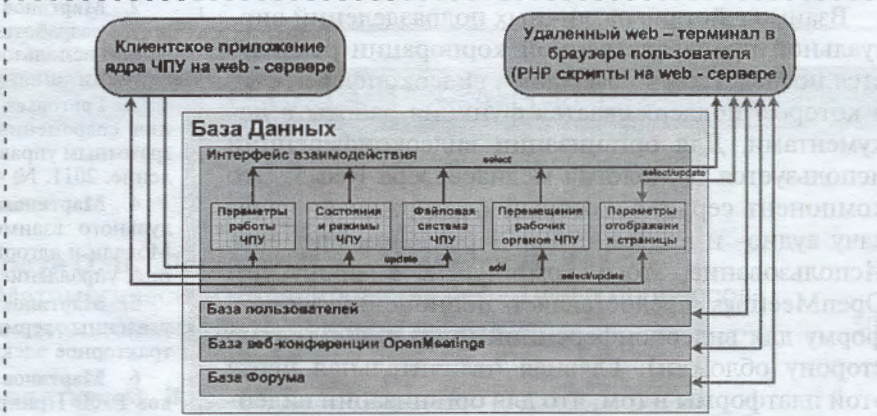


Рис. 5. Структура базы данных интерфейсной части web-сервера

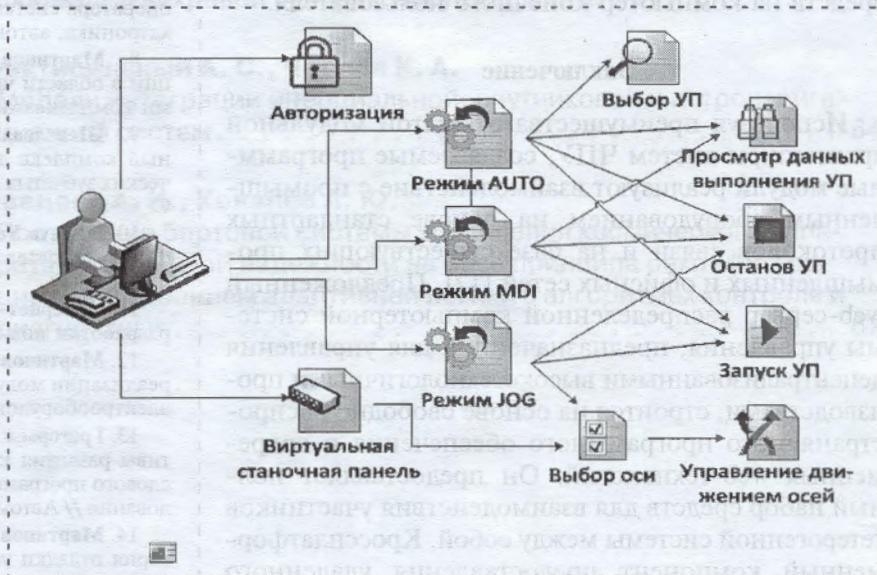


Рис. 6. Функции пользовательского интерфейса удаленного web-терминала



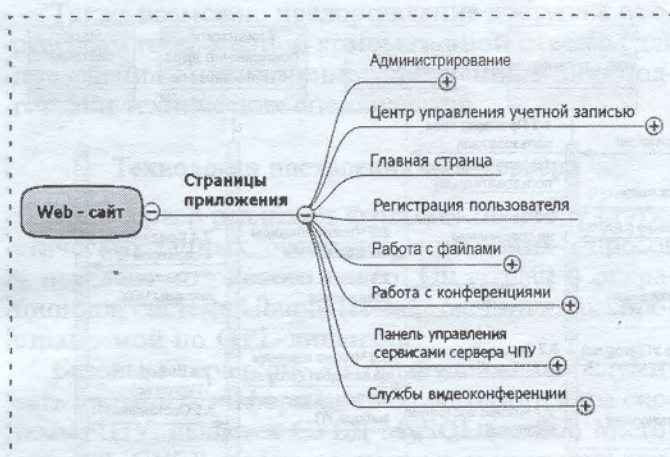


Рис. 7. Структура разделов сайта распределенной системы

Предоставление и администрирование ресурсов распределенной системы целесообразно реализовать на базе интернет-сайта (рис. 7), на котором каждый сервис представлен на отдельной странице с ограничением прав доступа.

Взаимодействие различных подразделений виртуальной производственной корпорации реализуется посредством web-сервиса видеоконференций, в котором поддерживается функция работы с документами. Для организации видеоконференций используется технология медиасервера Red 5. Это компонент сервера, который поддерживает передачу аудио- и видеопотоков в реальном времени. Использование этого компонента с продуктом OpenMeetings предоставляет полноценную платформу для видеоконференций (рис. 8, см. третью сторону обложки). Главная отличительная черта этой платформы в том, что для организации видеопотока между пользователями не нужно устанавливать никаких дополнительных программных средств на компьютер конечного пользователя.

### Заключение

Используя преимущества открытой модульной архитектуры систем ЧПУ, создаваемые программные модули реализуют взаимодействие с промышленным оборудованием на основе стандартных протоколов связи и на базе существующих промышленных и офисных сетей [12]. Предложенный web-сервер распределенной компьютерной системы управления, предназначенной для управления децентрализованными высокотехнологичными производствами, строится на основе свободно распространяемого программного обеспечения и современных web-технологий. Он предоставляет полный набор средств для взаимодействия участников гетерогенной системы между собой. Кроссплатформенный компонент предоставления удаленного доступа к диагностическим данным процесса и к

функциям управления системы ЧПУ не требует установки каких-либо дополнительных программных средств со стороны пользователя, система работает как web-сервис [13, 14]. Доступ к системе осуществляется через стандартный web-браузер при наличии персонального идентификатора логин-пароль, который позволяет отслеживать, какой из разработчиков удаленно управляет системой.

Площадка для разработчиков предоставляет методы удаленной работы с документами пользователям (участникам проекта) в реальном времени посредством встроенных в базовую систему приложений.

Предоставляемый набор web-инструментов для общения участников проекта поддерживает потоковое видео в реальном времени для обеспечения возможности взаимодействия пользователей в режиме видео- и аудиоконференций.

### Список литературы

1. Григорьев С. Н., Мартинов Г. М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. № 5. С. 4–8.
2. Мартинов Г. М., Сосонкин В. Л. Перспективные технологии разработки математического обеспечения систем управления: использование регулярных выражений // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 2. С. 40–46.
3. Григорьев С. Н. Научно-технические проблемы построения современных технологических систем с числовым программным управлением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 4. С. 19–26.
4. Мартинова Л. И., Мартинов Г. М. Организация межмодульного взаимодействия в распределенных системах ЧПУ. Модели и алгоритмы реализации // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 11. С. 50–55.
5. Мартинов Г. М., Сосонкин В. Л. Принципы построения удаленных терминалов ЧПУ для мехатронных систем // Автотракторное электрооборудование. 2004. № 1–2. С. 29–32.
6. Мартинов Г. М., Козак Н. В., Нежметдинов Р. А., Пушков Р. Л. Принцип построения распределенной системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. № 4 (12). С. 116–122.
7. Сосонкин В. Л., Мартинов Г. М. Построение интерфейса оператора систем ЧПУ с привлечением web-технологий // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 10. С. 41–44.
8. Мартинов Г. М., Мартинова Л. И. Современные тенденции в области числового программного управления станочными комплексами // СТИН. 2010. № 7. С. 7–10.
9. Шевелева Г. И., Волков А. Э., Медведев В. И. Программный комплекс для подготовки производства спирально-конических зубчатых передач // Вестник машиностроения. 2005. № 9. С. 6–14.
10. Hiseeva Yu. V. Comparative index for solutions of symplectic difference systems // Differential Equations. 2009. Т. 45. № 3. С. 445–459.
11. Интернет-ресурс открытой кроссплатформенной среды разработки под .Net — mono-project.com
12. Мартинова Л. И., Мартинов Г. М. Практические аспекты реализации модулей открытой системы ЧПУ // Автотракторное электрооборудование. 2002. № 3. С. 31–37.
13. Григорьев С. Н., Андреев А. Г., Мартинов Г. М. Перспективы развития кроссплатформенных компьютерных систем числового программного управления высокотехнологичного оборудования // Автоматизация в промышленности. 2011. № 5. С. 3–8.
14. Мартинов Г. М., Пушков Р. Л. Построение инструментария отладки управляющих программ систем ЧПУ на языках высокого уровня // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 11. С. 19–24.